

Рентгеновское излучение

План

1. Исторические аспекты.
2. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновская трубка
3. Виды рентгеновского излучения:
 - Тормозное,
 - Характеристическое. Закон Мозли.
4. КПД рентгеновской трубки.
5. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом
6. Ослабление рентгеновского излучения веществом.
7. Физические основы рентгеноскопии и рентгенографии.
8. Рентгеновская компьютерная томография.

**Рентгеновское излучение –
это электромагнитные волны с**

$$\lambda = 80 - 10^{-4} \text{ нм},$$

в медицине применяется

$$\lambda = 1 - 6 \cdot 10^{-3} \text{ нм}.$$

Свойства рентгеновских лучей:

1. Рентгеновское излучение обладает свойством электромагнитных волн (отражение, поглощение, дифракция и т. д.).
2. Рентгеновское излучение способно проходить через любые тела и непрозрачные для видимого света.
3. При прохождении через вещество происходит ослабление потока рентгеновского излучения. Степень ослабления зависит от структуры тела, следовательно, изучая картину просвечивания, можно получить информацию о строении.
4. Рентгеновское излучение вызывает почернение фотопленки и свечение некоторых веществ, следовательно, теневую картину можно зафиксировать на пленке.
5. Рентгеновские лучи вызывают ионизацию воздуха.

История открытия.

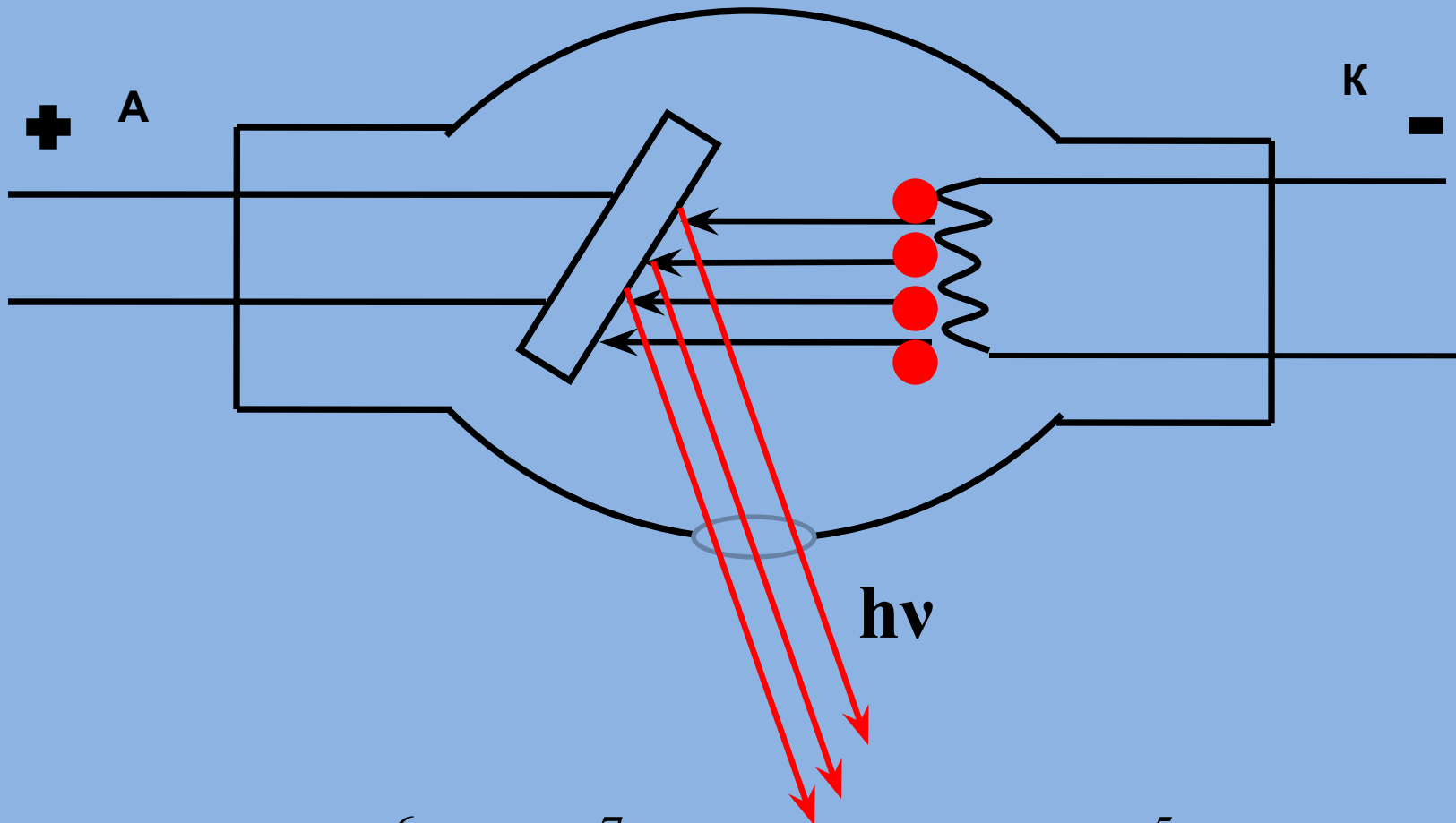
В 1895г. немецкий физик Рентген, изучая прохождение тока через разряженный газ, открыл проникающее излучение.

В 1901г. была присуждена Нобелевская премия за открытие рентгеновских лучей. Это была первая Нобелевская премия по физике.

Волновая природа рентгеновского излучения была установлена в опытах по дифракции в 1912г. ученым Лауэ.



Рентгеновская трубка – источник рентгеновского излучения.



$P=10^{-6} - 10^{-7}$ мм рт. ст., $U=10^5$ ЭВ.

В основе работы рентгеновской трубки-явление термоэлектронной эмиссии (ТЭ).

ТЭ-испускание электронов нагретыми металлами.

Виды рентгеновского излучения:

❖ **тормозное излучение**

❖ **характеристическое**

Тормозное излучение

Падающие на мишень электроны испытывают внутреннее торможение в поле атомных ядер.

Торможение – процесс движения с отрицательным ускорением, но ускоренно движущиеся заряды излучают в окружающее пространство электромагнитные волны. Электроны теряют часть энергии в виде электромагнитного излучения. Оно и представляет собой тормозное рентгеновское излучение. Условия торможения для различных электронов различны, поэтому изучаемые фотоны имеют самую различную энергию и излучение имеет сплошной спектр.

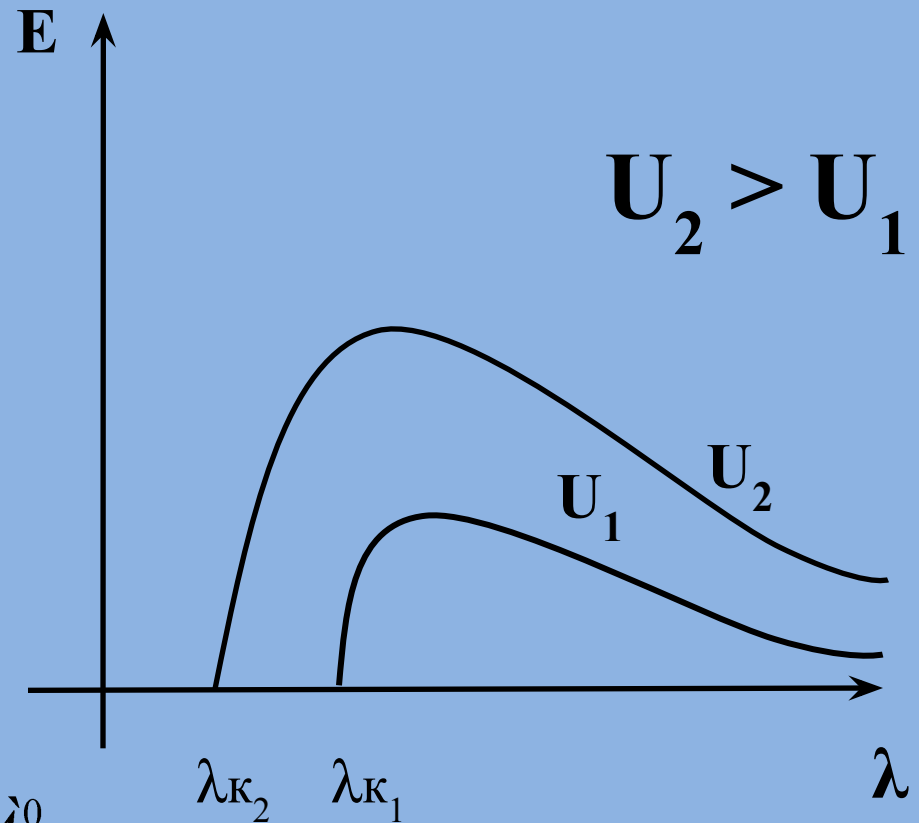
Спектр тормозного излучения

$E = h\nu$ – энергия кванта
рентгеновского излучения

$A = eU$ – работа
электрического поля

$eU = h\nu_{\max}$ – фотон имеет
максимально возможную
энергию.

$$\lambda_c = \frac{hc}{eU} = \frac{12,4}{U} \cdot 10^{-10} \text{ м} = \frac{12,4}{U} \text{ нм}$$

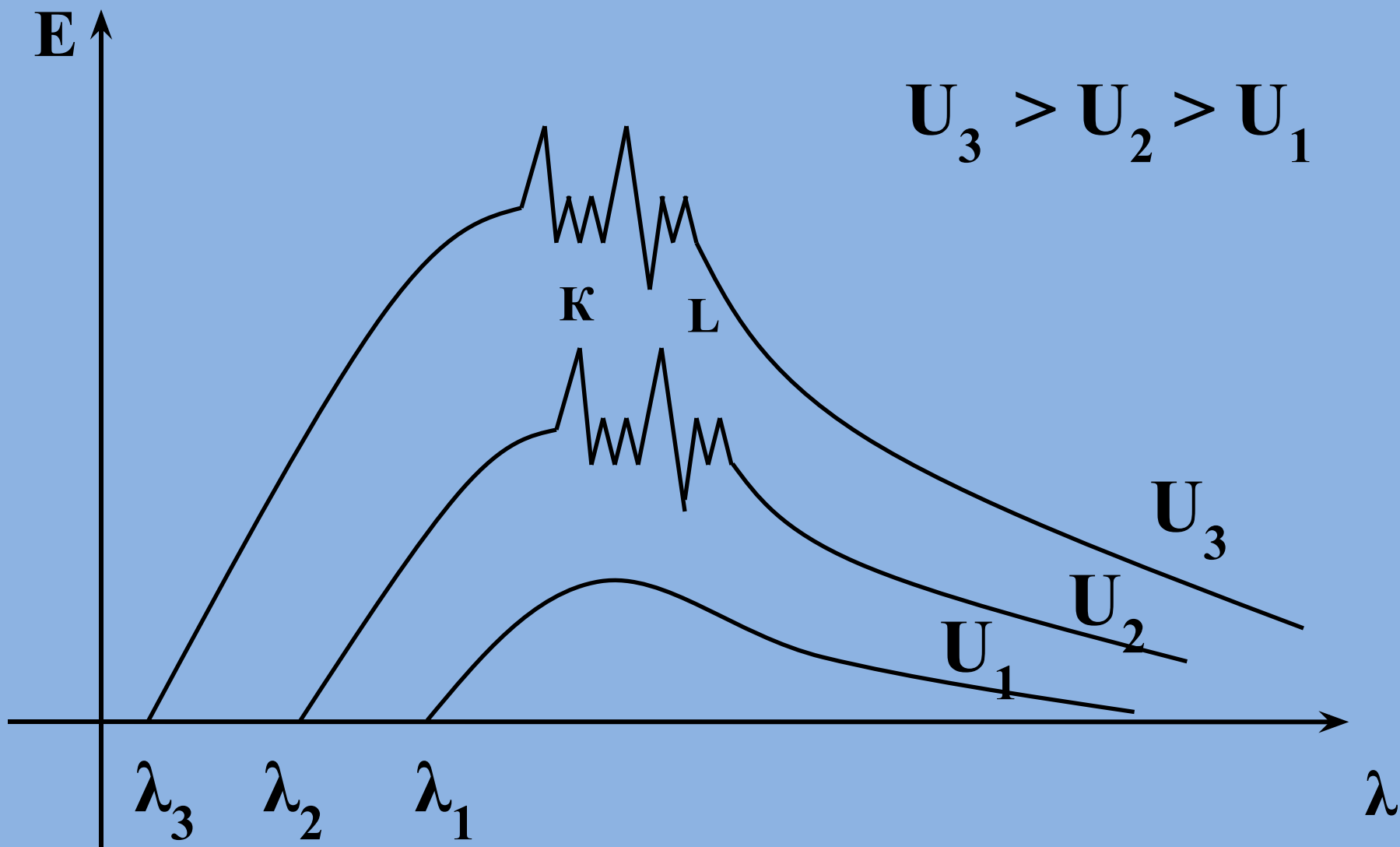


Характеристическое излучение

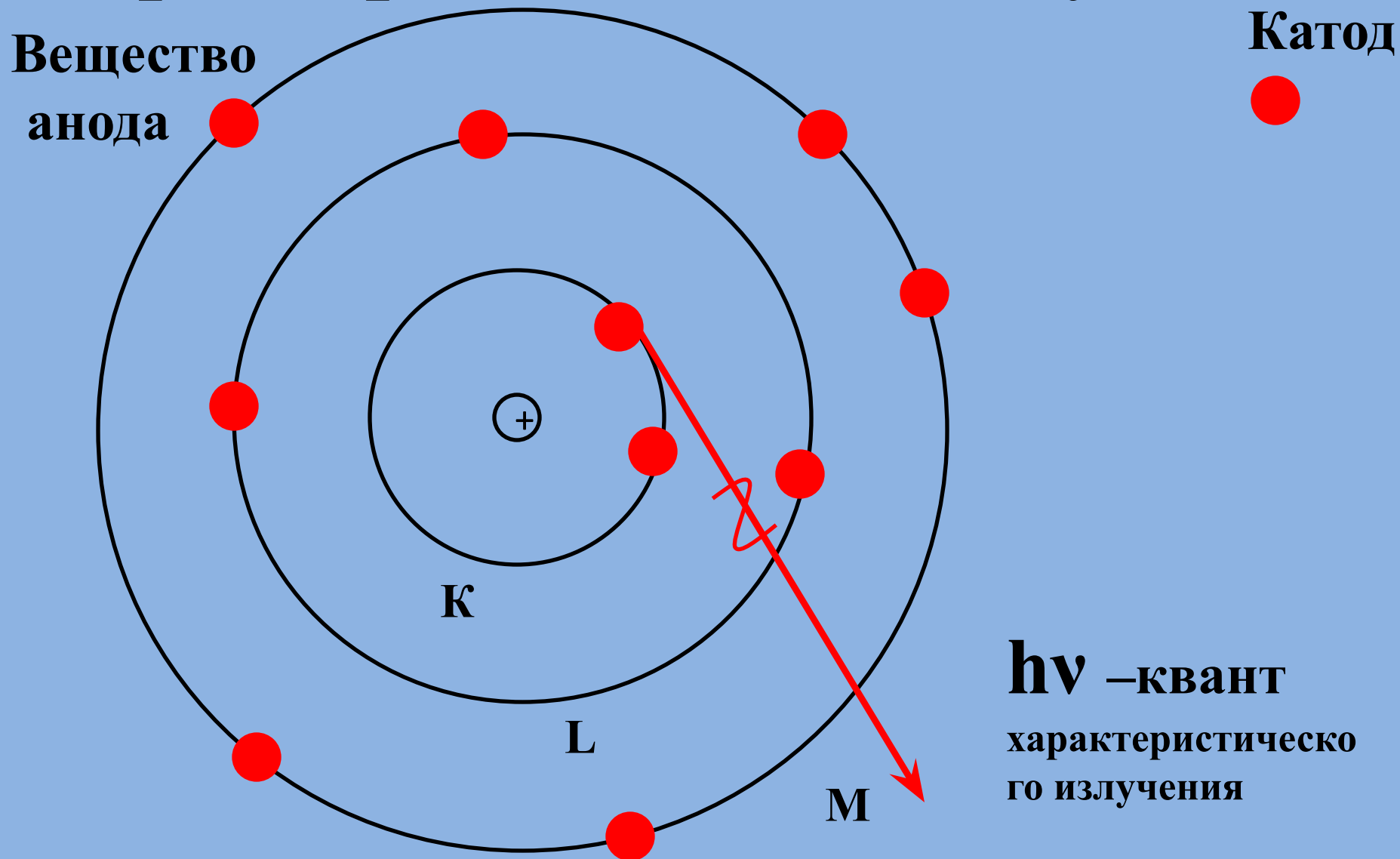
Характеристическое излучение возникает в результате взаимодействия ускоренных электронов с внутренними электронами атомов вещества анода.

При достаточной энергии падающего электрона, могут быть выбиты электроны из любой оболочки атома мишени, например, К-слой. В результате будет происходить целый каскад переходов электронов между выше и нижележащими уровнями энергии. Они сопровождаются образованием фотонов. При увеличении атомного номера (Z), происходит смещение спектров в область высоких частот, т. е. коротких длин волн.

Спектр характеристического излучения



Механизм образования характеристического излучения



Закон Мозли

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B)$$

Происходит увеличение жесткости рентгеновского излучения.

Самой жесткой является К-серия, более мягкими являются L, М серии.

Жесткое излучение $\lambda < 0,01$ нм

Мягкое излучение $\lambda > 0,01$ нм

Поток рентгеновского излучения
(мощность)-это энергия, излучаемая
рентгеновской трубкой в единицу времени
со всей площади.

$$\Phi = KJU^2Z$$

КПД рентгеновской трубки

$$KПД = \frac{N_n}{N_3} \times 100\%$$

$$N_{\Pi} = \Phi \qquad \Phi = KJU^2Z$$

$$N_3 = JU$$

$$KПД = \frac{KJU^2Z}{JU} \times 100\% = KUZ \times 100\%$$

КПД рентгеновской трубки – очень мал.

- ❖ **3% - электронов преобразуют свою энергию в энергию рентгеновского излучения.**
- ❖ **97% - энергии уходит на тепловой эффект.**
Так как рентгеновская трубка сильно нагревается, ее необходимо охлаждать.

$U=1000\text{кВ}$

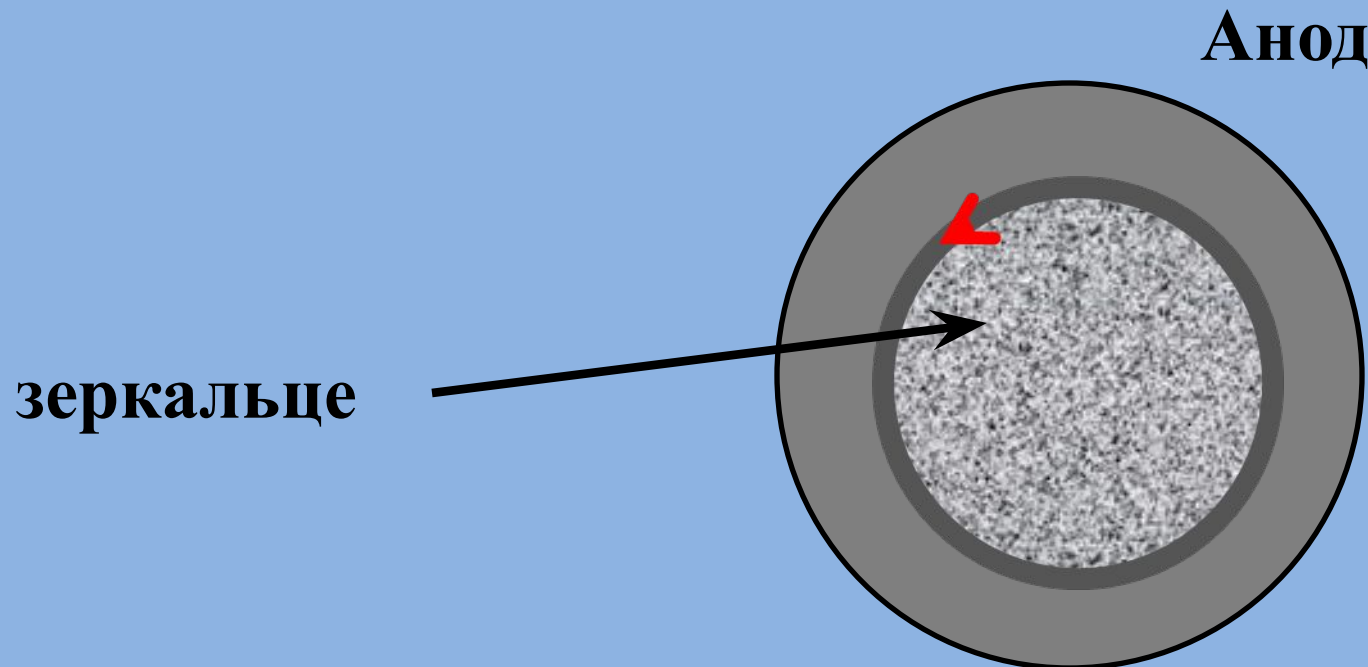
$\text{К.п.д.}=9\%$

$U=43\text{кВ}$

$\text{К.п.д.}=0,46\%$

Способы охлаждения рентгеновской трубки

- ❖ Воздушное и масляное охлаждение
- ❖ Анод изготавливают из веществ с высокой t плавления и большой теплопроводностью.
- ❖ Анод изготавливают вращающимся



Питание рентгеновской трубки обеспечивается двумя источниками:

- ❖ **Источником высокого напряжения для анодной цепи.**

Путем изменения анодного напряжения регулируют жесткость излучения.

- ❖ **Источником низкого напряжения (6—8 В) для цепи накала.**

Изменением накала регулируют силу тока в анодной цепи и соответственно мощность излучения.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

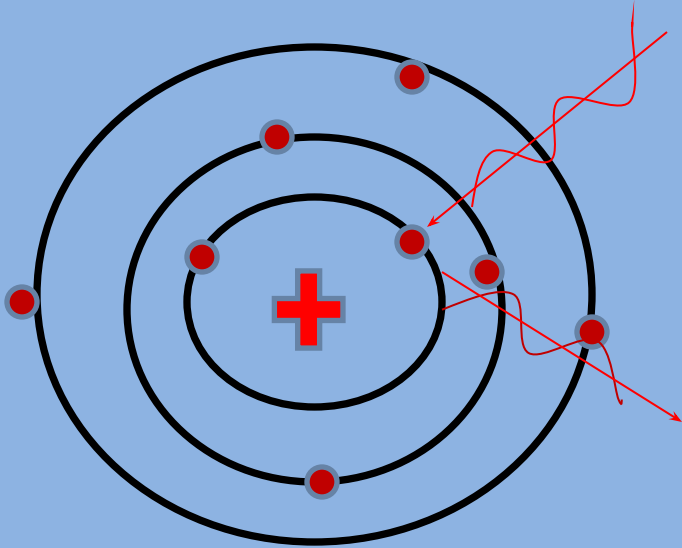
❖ **Когеретное рассеяние**

❖ **Фотоэффект**

❖ **Некогеретное рассеяние (Комптон-эффект)**

❖ Когерентное излучение.

Этот эффект возможен, если $h\nu < A_{\text{вых}}$

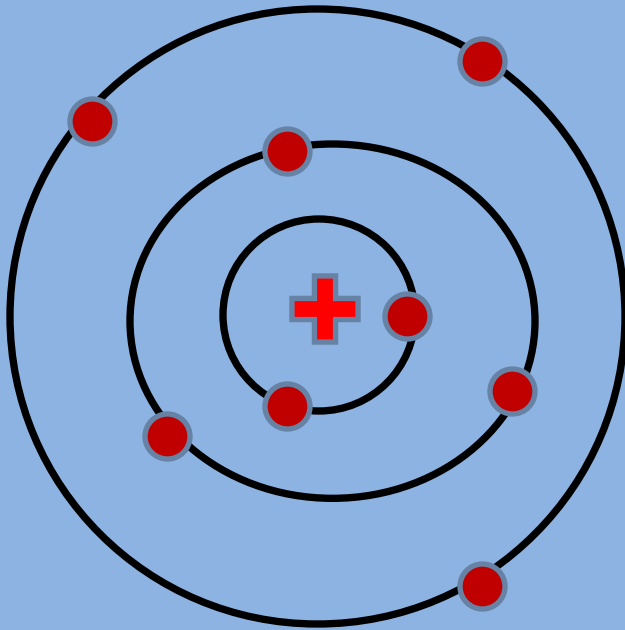
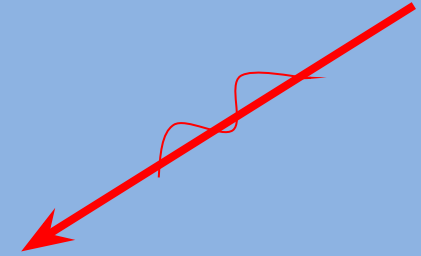


$h\nu$ – энергия падающего кванта рентгеновского излучения.

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона.

Фотоэффект.

Этот эффект возможен, если $h\nu > A_{\text{вых}}$

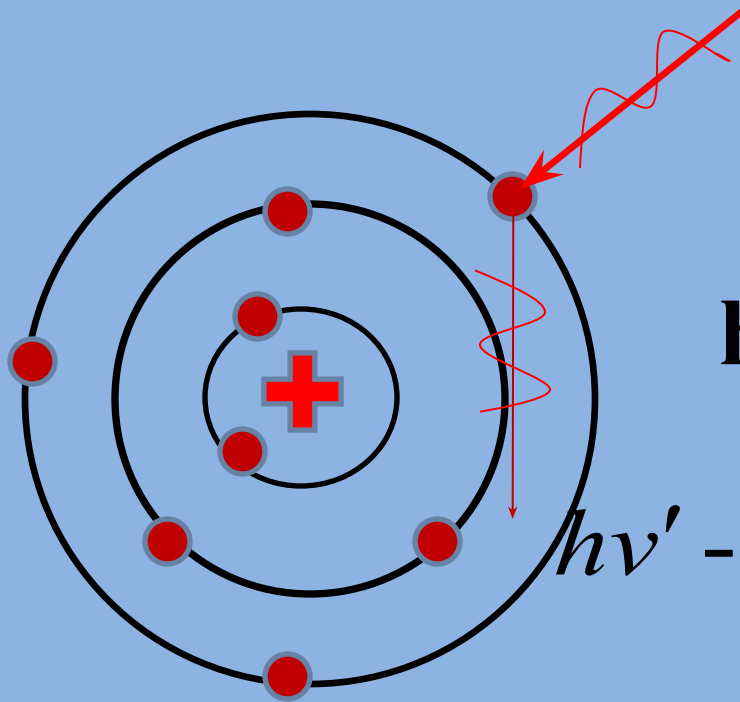


$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$$

$\frac{mv^2}{2}$ - Кинетическая энергия электрона

Комптон эффект.

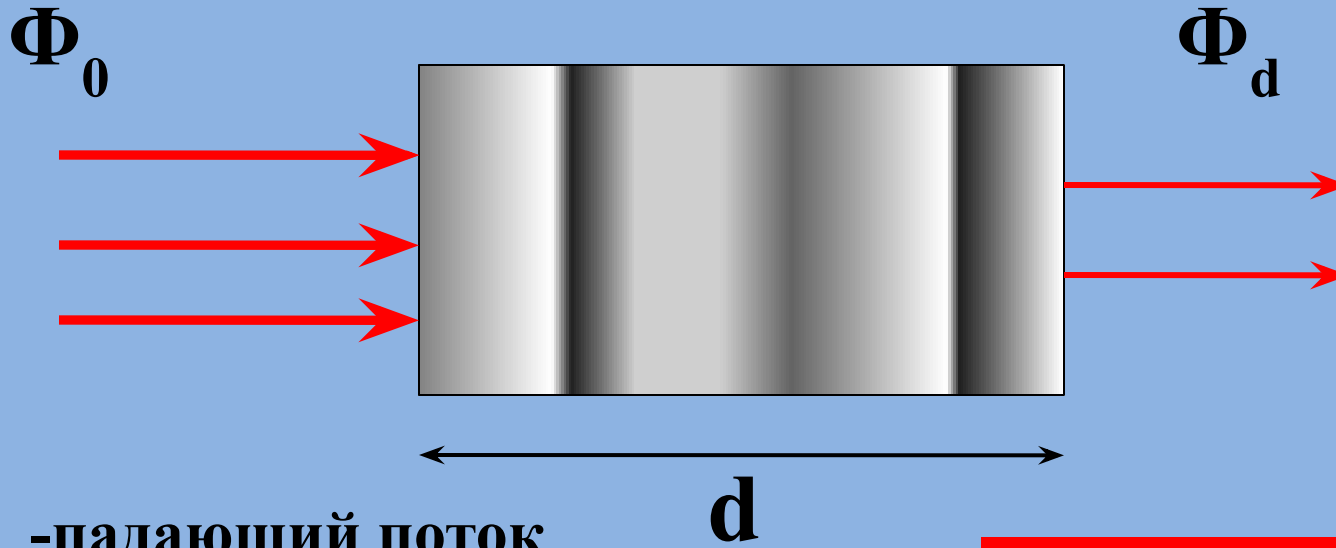
Этот эффект возможен, если $h\nu \gg A_{\text{ВЫХ}}$



$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2} + h\nu'$$

$h\nu'$ – Энергия вторичного кванта

Закон ослабления потока рентгеновского излучения.



Φ_0 -падающий поток

Φ_d – прошедший поток

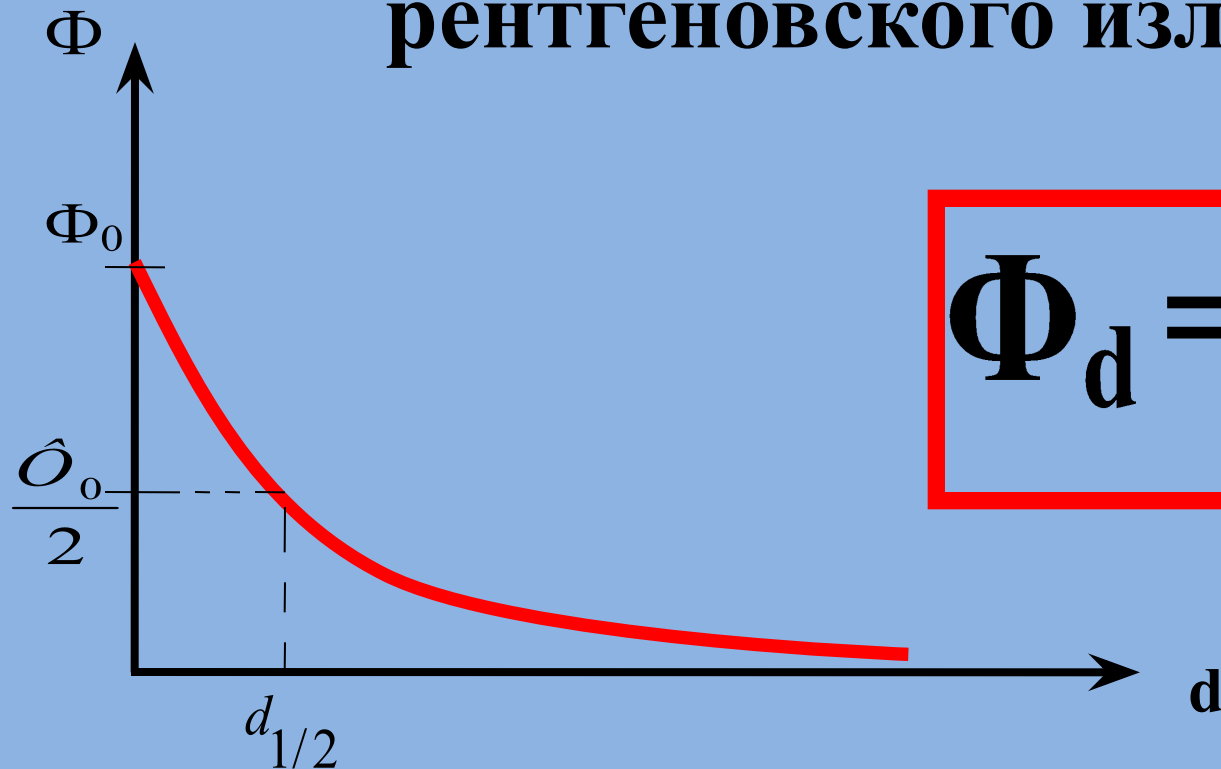
d – толщина слоя вещества

μ - коэффициент ослабления

e – основание натурального логарифма

$$\Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d}$$

Закон ослабления потока рентгеновского излучения



$$\Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d}$$

$d_{1/2}$ - Толщина слоя половинного ослабления

Физические основы рентгенодиагностики и рентгенографии

Рентгенодиагностика – получение теневого изображения внутренних органов при помощи рентгеновского излучения.

Рентгенодиагностика использует два основных метода:

- ❖ **рентгеноскопию** (просвечивание)
- ❖ **рентгенографию** (снимок).

**В основе рентгенодиагностики
и терапии лежит формула**

$$\mu = k \rho \lambda^3 Z^4$$

μ - линейный коэффициент ослабления.

k — коэффициент пропорциональности

λ - длина волны

Z – порядковый номер элемента вещества,
через которое проходит рентгеновское
излучение

Линейный коэффициент ослабления.

$$\mu = \kappa \rho \lambda^3 Z^4$$

Массовый коэффициент ослабления.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \kappa \lambda^3 Z^4$$

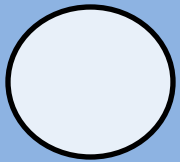
Если на пути пучка рентгеновского излучения поместить неоднородное тело и перед ним — флуоресцирующий экран, то вследствие неравномерного поглощения излучения на экране образуется тень, по форме и интенсивности которой можно приблизительно судить о внутреннем строении тела. Таков принцип исследования строения тел путем *просвечивания* их с помощью рентгеновского излучения.

Тело человека состоит из тканей и органов, различно поглощающих рентгеновское излучение. Поэтому при просвечивании его на экране получается неоднородное теневое изображение, которое дает картину формы и расположения тканей и внутренних органов.

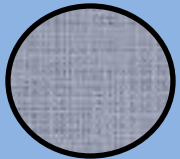
Все ткани организма можно разделить на две группы:

◆ **мягкие**

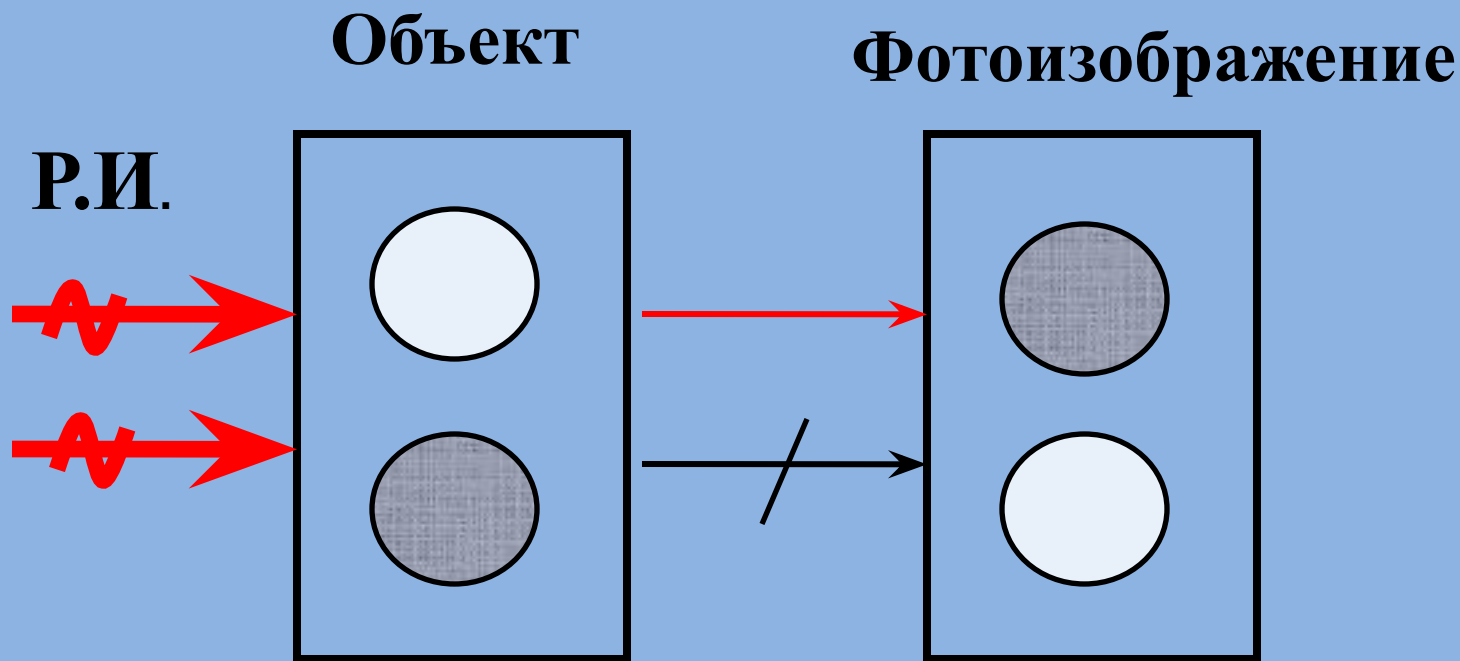
◆ **твёрдые**



Мягкие ткани (O_2 , C, H_2) Z=1-8



Твердые ткани (Ca, P, Mg) Z=8-20



Мягкие ткани ($Z=1-8$) $\mu=\kappa\lambda^3Z^4$ -низкий

Твердые ткани ($Z=8-20$) $\mu=\kappa\lambda^3Z^4$ -высокий



**Рентгенограмма
в начале
изменений.**

Демонстрация
типичной эрозии
большого и среднего
пальцев, а также
локтевого
шиловидного
отростка

Рентгеновская компьютерная томография



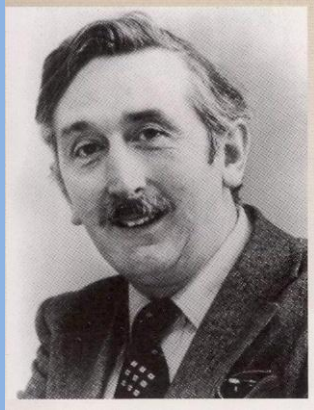
План

- ❖ **Исторические аспекты**
- ❖ **Устройство**
- ❖ **Принципы построения изображения**

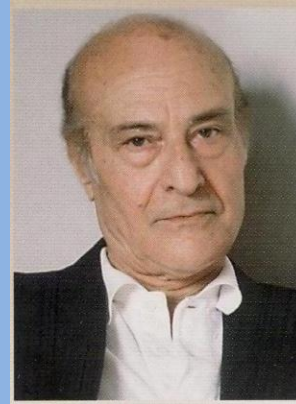
Рентгеновская томография- это послойное теневое изображение внутренних органов с помощью рентгеновского излучения.

Рентгеновская компьютерная томография (РКТ)- это послойное теневое изображение внутренних органов с помощью рентгеновского излучения, обработанного компьютером.

Создатели компьютерной томографии



Годфри Хаунсфилд



Аллен Кормак

1979г – Хаунсфилд (Англия), Кормак (США) – получили Нобелевскую премию за разработку и внедрение РКТ.

История создания

- Основоположником томографии является французский исследователь Вокадж, который в 1921г получил патент на чертежи для послойного исследования.
- Через 10 лет были сконструированы первые аппараты для послойного исследования, (итальянский рентгенолог – Вальбона) и получены снимки в клинических условиях.
- В СССР первый томограф разработал Феактистов в 1953г.
- Изображение, получаемое на рентгеновском томографе с обработкой получаемой информацией на ЭВМ произвело переворот в области получения изображения в медицине. Впервые сообщил о новом методе инженер Хаунсфилд (1972 – 1973г). Этот метод применяли только для исследования головного мозга.

Поколения РКТ

- ❖ **I поколение-** однодетекторные.
Время исследования- $t = 4\text{-}20\text{мин}$, $D = 14 - 16$ рад.
- ❖ **II поколение** – число детекторов увеличено до 8.
Время исследования $t = 20 - 60\text{с}$
- ❖ **III поколение-** 256-512 ксеноновых детекторов
Время исследования- $t = (3 - 5)\text{с}$
- ❖ **IV поколение-** 1400 до 1800 детекторов
Время исследования- $t = (1 - 1.5)\text{с}$ внутри 8 холодильников.
- ❖ **V поколение-** Работают в реальном масштабе времени. Время исследования $t = 50$ мс.

Наиболее важные области применения РКТ-диагностика заболеваний :

- неврологических,
- сердечных,
- Онкологических,

Системы КТ постоянно совершенствовались, и сегодня они, по общему признанию, являются одними из наиболее передовых средств медицинской визуализации.

Устройство РКТ

- ◆ сканирующая система «Гентри»
- ◆ пульт управления
- ◆ ЭВМ

Сканирующая система:

- ❖ рентгеновская система
- ❖ детекторная система

Рентгеновская система:

- ❖ **Рентгеновская трубка** мощностью **30-50 кВт** работает в импульсном режиме с частотой импульсов **50 Гц** при напряжении **100-130 кВ**, силе тока **150-200 мА**.
- ❖ **Генератор высоковольтный** - источник питания- работает в импульсном режиме, обеспечивает рентгеновскую трубку напряжением до **100-130 кВ** .

Пульт управления содержит:

- ❖ **два видеомонитора(текстовый и для получения изображения срезов)**
- ❖ **клавиатура**

Функция ЭВМ заключается в:

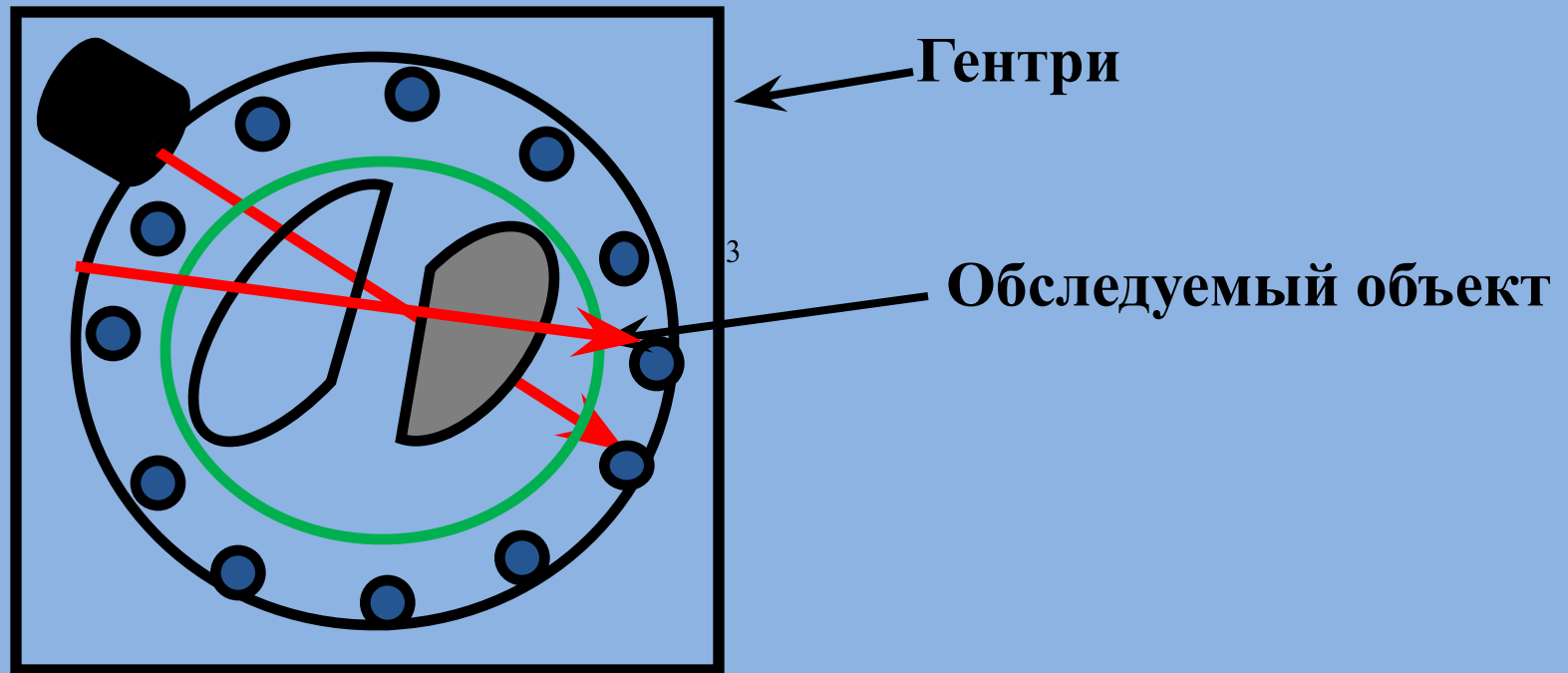
- ❖ обработке предварительной информации, поступившей из детекторов,
- ❖ реконструкции и получении изображения органа,
- ❖ оценке выявленных данных по стандартным программам,
- ❖ автоматическом управлении процессом сканирования пациента (хранение и выдача томографических данных).

Томограмма может быть получена тремя способами:

- ❖ **Объект неподвижен** – согласовано движутся в противоположных направлениях рентгеновская трубка и датчик
- ❖ **Неподвижна трубка** – перемещается объект и датчик
- ❖ **Неподвижен датчик** – движется объект и трубка

Детектор –преобразует рентгеновский луч в импульс тока. Сигнал с детектора поступает в компьютер. Затем источник сдвигается по кругу на 3^0 и снова производит съёмку объекта. Источник за 1 секунду обходит весь круг, совершая 120 съёмок органа. Стол с пациентом сдвигается на один шаг. Далее цикл повторяется.

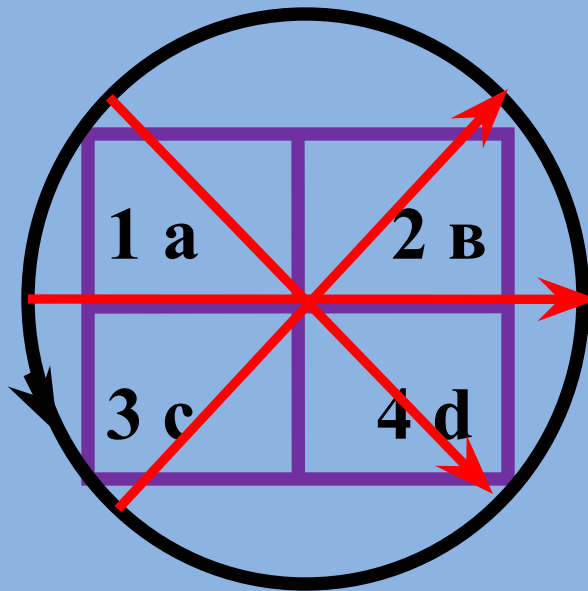
Р. тр



● Детектор –преобразует рентгеновский луч в импульс тока

Реконструкция изображения

В основе реконструкции изображения лежит теория матриц. Простейшая матрица состоит из четырех ячеек.



$$1+4=a+d$$

$$1+2=a+b$$

$$3+2=c+b$$

⋮

⋮

Компьютер решает систему уравнений и находит плотность в каждой ячейке.

матрица 2048*2048 элементов

цифра- номер ячейки

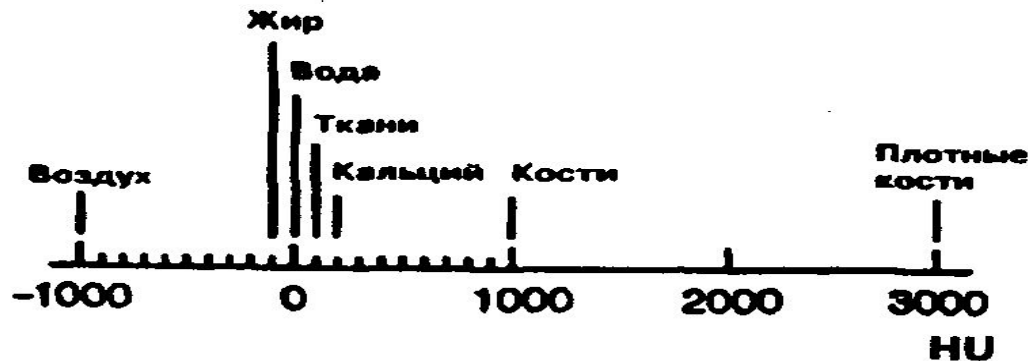
буква- плотность вещества в ячейке

В томографе строится матрица 2048×2048 элементов. Всего получается 4194304 элементов, каждый из которых имеет свой коэффициент ослабления. Столько же получается уравнений, которые решаются компьютером, т. е. определяется величина плотности в каждой ячейке. На экране получается цифровая картина, отражающая распределение плотностей тканей по ячейкам. Разным числовым значениям коэффициентов ослабления приписывают разные яркости точек изображения на мониторе. Затем цифровая картина переводится в теневую картину. Плотность ткани определяется по шкале Хаундсфилда.

Шкала Хаунсфилда

- ❖ **Единица измерения – единица Хаунсфилда(HU)**
- ❖ **Каждая ткань имеет свою плотность от -1000 HU до 3000 HU**

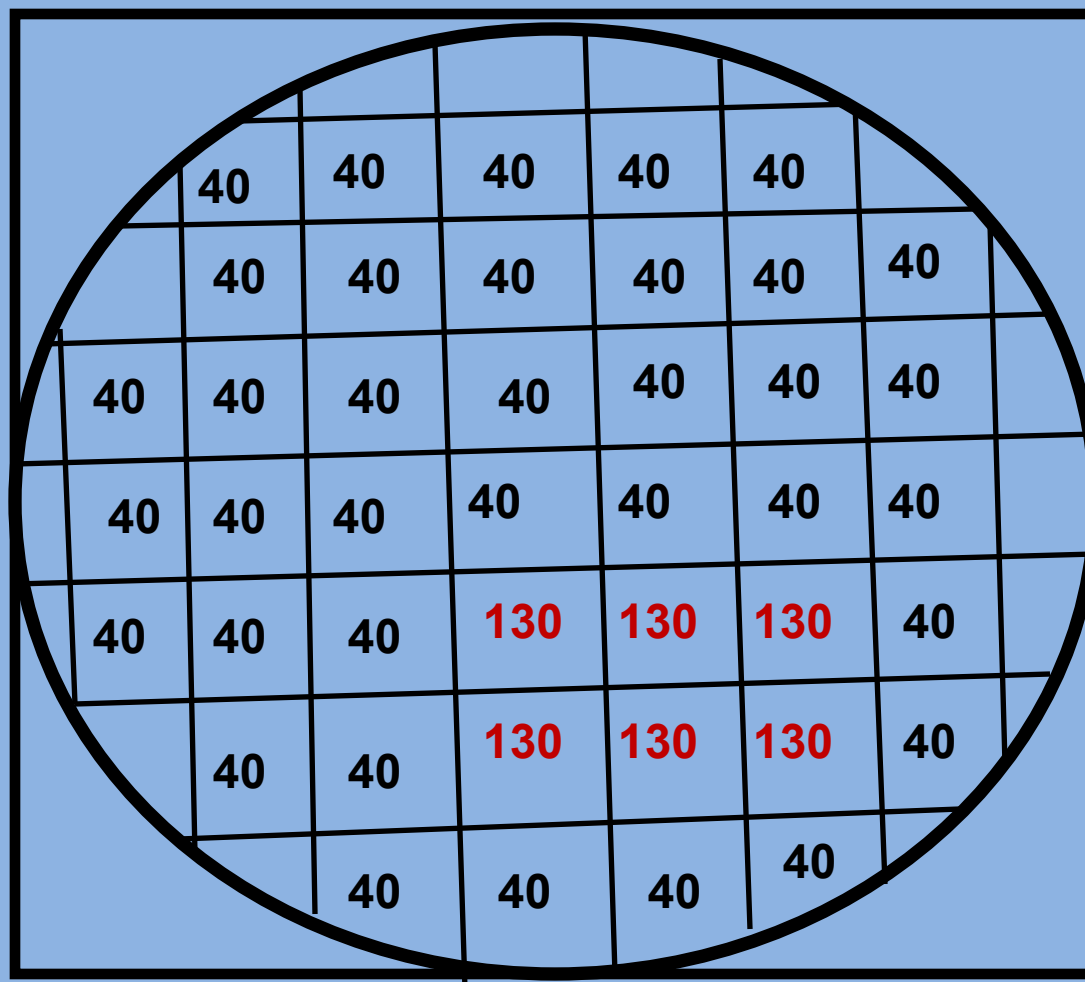
Шкала Хаунсфилда



- ❖ Воздух -1000
- ❖ Вода 0
- ❖ Кровь 20-60
- ❖ Жир 100
- ❖ Кости 1000
- ❖ Плотных кости 3000

Получается цифровая картина

Почки-плотность равна 40



Спиральное сканирование заключается в одновременном выполнении двух действий:

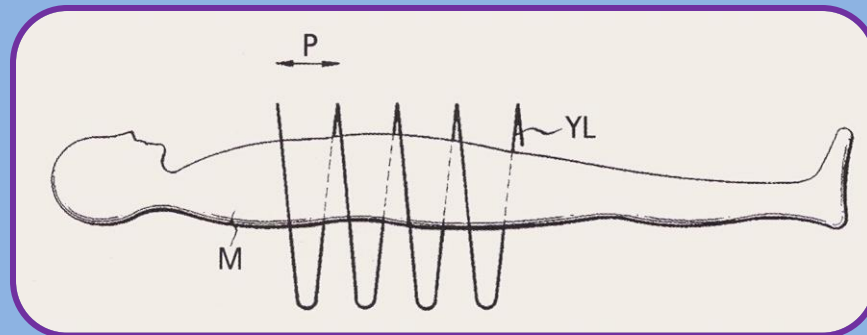
- ❖ непрерывного вращения рентгеновского луча вокруг тела пациента,
- ❖ непрерывного поступательного движения стола с пациентом вдоль оси сканирования.

За один оборот источника- 64 среза.

Толщина среза-0,6 мм.

Длительность спирали- 100с.

Сканируется всё тело за одно обследование.



Возможности спиральной КТ ангиографии

Проведение с помощью спирального КТ ангиографии с внутривенным введением контрастного вещества и возможность получения трехмерного изображения сосудов открывают широкие возможности изучения патологии сосудистой системы:

- ❖ аневризмы аорты,
- ❖ стеноз почечных артерий,
- ❖ сосудистые анастомозы,
- ❖ наличие внутрисосудистых бляшек

Качество изображений растёт при увеличении:

- ❖ числа детекторов,
- ❖ количества регистрируемых проекций.

Совершенствование сканирующих систем –

- ❖ уменьшение времени исследования
- ❖ увеличение информационных параметров.

Литература:

1. А.И. Позмогов, С.И. Терновой «Томография грудной клетки»
2. А.Н. Коновалов «Компьютерная томография в нейрохирургии»
3. Р.И. Габуния «Компьютерная томография в клинической медицине»

Литература:

1. А.И. Позмогов, С.И. Терновой «Томография грудной клетки»
2. А.Н. Коновалов «Компьютерная томография в нейрохирургии»
3. Р.И. Габуния «Компьютерная томография в клинической медицине»